

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0261

NaCl 胁迫对黄心菜种子萌发及幼苗生长的影响

朱庆松, 申 君, 王 勇, 高亚亭, 刘松虎

(信阳市大别山区园艺植物遗传改良重点实验室·信阳农林学院园艺学院 河南信阳 464000)

摘要: 探究 NaCl 胁迫对黄心菜种子萌发及幼苗生长的影响, 为筛选耐盐种质资源、培育优良品种提供依据。以淮南塌地乌 3 号为试验材料, 在 0(CK)、0.05、0.1、0.2、0.3、0.4 mol·L⁻¹ NaCl 浓度下进行种子萌发及幼苗生长胁迫试验, 分别测定其种子萌发和幼苗相关的表型与生理生化指标。结果表明, 黄心菜种子的发芽势、发芽率、胚根长、胚芽长随着 NaCl 浓度的升高极显著降低, 与黄心菜幼苗期相比, 其发芽期对盐胁迫更为敏感; 在幼苗期, 随着 NaCl 胁迫浓度的增加, 黄心菜的根鲜干质量、地上部质量、叶宽表现为低浓度促进生长、高浓度抑制生长。幼苗的叶长、株高、叶宽则显著低于对照且随着胁迫浓度的增加逐渐降低, SPAD 值呈现先显著增加后降低的趋势, MDA 含量、脯氨酸(Pro)含量均显著高于对照, POD 活性显著高于对照且呈现显著升高而后逐渐降低的趋势。综上所述, 0.05 mol·L⁻¹ NaCl 显著抑制黄心菜种子的发芽率与发芽势的升高, 但对黄心菜胚芽生长有显著促进作用。NaCl 胁迫处理浓度大于 0.2 mol·L⁻¹ 时显著抑制幼苗的地上部鲜质量、干质量、株高的增加, MDA、Pro 含量和过氧化物酶活性呈显著升高再降低的趋势。结果可作为评价 NaCl 胁迫下黄心菜耐盐性强弱的指标。

关键词: 黄心菜; 盐胁迫; 种子萌发; 生理生化指标

中图分类号: S634

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)02-088-06

Effects of NaCl stress on the germination of *Brassica campestris* seeds and seedling growth

ZHU Qingsong, SHEN Jun, WANG Yong, GAO Yating, LIU Songhu

(Key Laboratory of Horticultural Plant Genetic Improvement in Dabie Mountain Area of Xinyang City/College of Horticulture, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, Henan, China)

Abstract: By analyzing the effects of NaCl stress on seed germination and seedling growth of *Brassica campestris*, provide a basis for screening salt tolerant germplasm resources and cultivating excellent varieties. Huainan Tadiwu No. 3 was used as the experimental material to conduct seed germination and seedling growth stress tests at concentrations of 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 mol·L⁻¹, and the phenotypic, physiological and biochemical indicators related to seed germination and seedlings were measured. The results showed that with the increase of NaCl concentration, the germination potential, germination percentage, radicle and plumule length of *Brassica campestris* seeds decreased significantly. Compared with the seedling stage of *Brassica campestris*, its germination stage was more sensitive to salt stress; At the seedling stage, with the increase of NaCl stress concentration, the root fresh weight, root dry weight, above ground mass, and leaf width of *Brassica campestris* exhibited low concentration promoting growth and high concentration inhibiting growth. The leaf length, plant height, and leaf width of the seedlings were significantly lower than the control and gradually decreased with the increase of stress concentration. The relative chlorophyll content showed a trend of first significant increase and then decrease, and the MDA content and proline content were significantly higher than the control. The POD activity was significantly higher than the control and showed a significant increase and then gradually decreased. In conclusion, the concentration of 0.05 mol·L⁻¹ NaCl significantly inhibited the germination rate and potential of *Brassica campestris*, but had a significant promoting effect on the plumule length of *Brassica campestris* embryos. When the concentration of NaCl solution was higher than 0.2 mol·L⁻¹, above ground fresh mass, dry mass, and plant height of seedlings was significantly inhibited. MDA and Pro content, peroxidase activity showed a significant increase and then decrease trend, which can be used as an indicator to evaluate the salt tolerance of *Brassica campestris* under NaCl stress.

Key words: *Brassica campestris*; Salt stress; Seed germination; Physiological and biochemical indexes

收稿日期: 2023-04-25; 修回日期: 2023-11-02

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(16A210054)

作者简介: 朱庆松, 男, 副教授, 主要从事园艺植物露地栽培和设施栽培研究。E-mail: zqs43@126.com

通信作者: 刘松虎, 男, 副教授, 主要从事蔬菜栽培生理与种质创新研究。E-mail: shliu2012@126.com

黄心菜 (*Brassica campestris* L.), 又叫卷窝菜、菊花心、冬白菜, 属十字花科不结球白菜的变种, 是具有豫南特色的2年生越冬蔬菜。黄心菜叶片圆形呈麻窝状, 外叶绿色塌地, 心叶淡黄色, 叶缘向外翻卷, 叶片肥厚细嫩, 纤维少, 营养丰富。黄心菜因外形美观、产量高、富含人体必需的多种微量元素及口感好而日益受到消费者青睐, 是冬季寒冷时节较为理想的蔬菜种类^[1]。黄心菜抗病性、抗寒性均较强, 在-8~-10℃的低温下, 仍能缓慢生长, 可耐受短暂的-15℃低温, 有“雪地金花”之称。

土壤盐渍化是制约农业生产的主要非生物胁迫因素之一。据统计, 目前世界上盐渍土壤面积约为 9.5×10^8 hm², 占陆地总面积的7.26%^[2]。第二次全国土壤普查结果显示, 中国也是盐渍化问题较为严重的国家之一, 盐渍土壤总面积约为 3.6×10^7 hm², 占全国可利用土地面积的4.88%^[3]。土壤盐渍化严重影响植物的生长发育, 引起植物叶片黄化、脱水和植株死亡, 造成作物大量减产, 品质下降。离子胁迫、渗透胁迫和营养不均衡是植物在盐渍化土壤中无法很好生长的主要因素^[4]。

目前, 关于作物盐胁迫效应方面的研究多集中于主要的粮食作物。研究认为, 盐胁迫对油菜种子萌发、幼苗生长、抗氧化酶活性、丙二醛含量等均有显著影响^[5]。盐胁迫下芥菜型油菜种子的发芽率、根长和株高均呈下降趋势^[6]。盐胁迫下高羊茅幼苗的抗氧化酶活性、光合能力等下降, 脯氨酸含量增加等^[7]。前人研究表明, 盐胁迫对作物种子萌发、幼苗的表型性状、抗氧化酶活性、渗透调节物质等均具有直接显著的影响, 但关于黄心菜作物在盐胁迫下种子萌发、幼苗生长特性还缺乏深入系统的研究。因此, 分析黄心菜作物的耐盐机制, 挖掘种质本身的耐盐能力, 筛选培育耐盐种质资源, 对促进黄心菜蔬菜生产与品种改良有非常重要的意义。

笔者通过探究淮南塌地乌3号黄心菜品种在不同盐浓度胁迫下对其种子萌发及幼苗生长的影响, 测定其种子萌发及幼苗的表型和生理指标, 比较分析淮南塌地乌3号的耐盐机制, 为后期黄心菜耐盐品种的选择、优良品种的培育等提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料

供试黄心菜品种为淮南塌地乌3号(安徽淮研种业有限公司), NaCl为分析纯(天津巴斯夫化工有限公司)。

1.2 试验仪器设备

台式冷冻离心机(ALLega X-30R, 贝克曼)、电子分析天平(FA3104N, 上海菁海)、分光光度计(V-1800, 上海美谱达)、光照培养箱(SPX-150B-D, 上海博讯)、水浴锅(SHH W21-600, 金坛金伟)、电热鼓风干燥箱(GZX-9246MBE, 上海博讯)。

1.3 方法

1.3.1 种子发芽期 NaCl 胁迫处理 种子发芽期 NaCl 胁迫处理试验于2021年11月在信阳农林学院信阳市大别山区园艺植物遗传改良实验室进行。NaCl浓度设为0(CK)、0.05(T1)、0.1(T2)、0.2(T3)、0.3(T4)、0.4(T5) mol·L⁻¹共6个处理。试验按照国际种子检验规程进行, 采用滤纸法, 3次重复。在玻璃培养皿内平放2张120 mm×120 mm滤纸, 每皿选取50粒种子, 均匀放置于滤纸上, CK加入6 mL蒸馏水, 其他处理加入6 mL对应浓度的NaCl溶液, 放入恒温培养箱中28℃培养, 第3天统计种子发芽势, 子叶展平的种子视为正常发芽。第5天再次统计种子发芽率及胚根、胚芽长度。

1.3.2 幼苗期 NaCl 胁迫处理 幼苗期 NaCl 胁迫处理在信阳农林学院校内智慧园艺实习基地进行。采用基质配方为草炭、蛭石、珍珠岩、生物有机肥体积比3:3:3:1, 穴盘育苗, 每个处理30株苗, 3次重复。待幼苗长到4叶1心时, 用不同浓度NaCl溶液(各处理浓度同发芽期)处理黄心菜幼苗, 每株苗浇灌10 mL, 每隔3 d处理1次, 待处理3次后, 测量相关性状指标。

1.4 项目指标测定方法

黄心菜种子的发芽势/%=(第3天正常发芽的粒数/培养皿中供试种子总数)×100;

发芽率/%=(第5天统计种子发芽的粒数/培养皿中供试种子总数)×100;

相对发芽率/%=(处理发芽率/对照发芽率)×100;

胚根长: 种子发芽期根颈部至主根根尖的长度; 胚芽长: 种子发芽期根颈部至幼芽生长点的长度; 叶长、叶宽: 黄心菜幼苗最大真叶的长和宽; 株高: 幼苗根颈部至生长点的距离; 根长: 幼苗根颈部至主根尖端的长度; 地上部鲜质量: 剪掉根部后的地上部分质量; 根鲜质量: 将根部剪下, 轻轻洗去附着的基质, 用滤纸吸干水分后称质量; 地上部干质量、根干质量: 将幼苗的地上部和根部放入105℃电热鼓风干燥箱中, 对幼苗进行10 min杀青, 然后将温度

调到 72 °C 烘干至恒质量,用分析天平称量。

使用手持式叶绿素测定仪测定叶绿素相对含量。采用酸性茚三酮比色法测定脯氨酸(Pro)含量;采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量;采用愈创木酚法^[6]测定过氧化物酶(POD)活性。

1.5 数据处理

采用 Excel 2007 软件进行统计绘图,采用 SPSS 20.0 软件进行数据的方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 NaCl胁迫对黄心菜种子萌发的影响

2.1.1 NaCl胁迫对黄心菜种子发芽势的影响 由表 1 可知,CK 的种子发芽势极显著高于其他各处理,随着盐胁迫浓度的增加,种子的发芽势呈现极显著下降趋势。盐浓度为 0.05 mol·L⁻¹时,种子发芽势与 CK 相比极显著降低,种子发芽势降到了 50% 以下,表明黄心菜种子萌发对 NaCl 胁迫高度敏感。NaCl 浓度为 0.1、0.2 mol·L⁻¹时,种子发芽势与 CK 相比分别下降了 41.00、58.46 个百分点;NaCl 浓度为 0.3 mol·L⁻¹时,种子的发芽势仅为 2.20%,已基本不萌发;NaCl 浓度为 0.4 mol·L⁻¹时,种子的发芽势全部为 0,表明盐胁迫对黄心菜种子的发芽势有极显著的抑制作用。

表 1 NaCl 胁迫对黄心菜种子萌发的影响
Table 1 Effects of NaCl stress on the germination of *Brassica campestris* seeds

处理 Treatment	发芽势 Germination potential/%	发芽率 Germination rate/%	相对发芽率 Relative germination rate/%
CK	70.89±0.89 A	75.11±0.59 A	100.00
T1	44.00±1.15 B	58.00±1.15 B	77.22
T2	29.89±0.19 C	35.33±1.15 C	47.03
T3	12.43±0.75 D	19.00±0.58 D	25.29
T4	2.20±0.34 E	7.78±0.22 E	10.35
T5	0.00±0.00 F	0.00±0.00 F	0.00

注:同一列数字后不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著。表 2 同。

Note: Different capital letters indicate extremely significant differences at 0.01 level. The same of table 2.

2.1.2 NaCl胁迫对黄心菜种子发芽率的影响 由表 1 可知,黄心菜种子在 NaCl 胁迫下,其发芽率与 CK 相比极显著降低,具体表现为在 0.05、0.1、0.2、0.3 mol·L⁻¹时,发芽率分别为 58.00%、35.33%、19.00%、7.78%。NaCl 浓度为 0.4 mol·L⁻¹时,发芽率为 0,表明盐胁迫处理对黄心菜种子的发芽率有

极显著的抑制作用。

2.1.3 NaCl胁迫对黄心菜种子相对发芽率的影响 由表 1 可知,随着盐浓度的增高,相对发芽率呈现逐渐降低的趋势。NaCl 浓度为 0.05 mol·L⁻¹时,T1 处理有较高的相对发芽率,为 77.22%,NaCl 浓度为 0.1 mol·L⁻¹时,相对发芽率仅为 47.03%,表明盐处理对种子相对发芽率的抑制作用会随着盐浓度的增加而增强。

2.1.4 NaCl胁迫对黄心菜种子胚根及胚芽生长的影响 由表 2 可知,在 NaCl 胁迫下,随着 NaCl 浓度的提高,种子胚根长整体呈下降的趋势,一定浓度 NaCl 胁迫对胚根生长有极显著的抑制作用。T1 与 CK 相比差异不显著,NaCl 浓度到达 0.1 mol·L⁻¹时,种子胚根长与 CK 相比极显著降低。NaCl 胁迫对种子胚芽生长有极显著影响,且 T1 胚芽长度极显著高于 CK,表明 NaCl 浓度为 0.05 mol·L⁻¹时对种子胚芽生长有促进作用,可能是低盐浓度有利于种子吸水渗透压的保持。NaCl 浓度为 0.1 mol·L⁻¹时,种子胚芽长呈极显著降低,且之后随盐浓度增加,NaCl 对胚芽的抑制作用极显著增强。

表 2 NaCl 胁迫对黄心菜种子的胚根、胚芽生长的影响
Table 2 Effects of NaCl stress on the radicle and plumule growth of *Brassica campestris* seeds

处理 Treatment	胚根长 Radicle length/cm	胚芽长 Plumule length/cm
CK	2.47±0.05 A	1.42±0.01 B
T1	2.44±0.03 A	1.52±0.01 A
T2	2.22±0.13 B	1.08±0.02 C
T3	1.31±0.09 C	0.48±0.01 D
T4	0.46±0.05 D	0.29±0.00 E
T5	0.00±0.00 E	0.00±0.00 F

2.2 NaCl胁迫对黄心菜幼苗生长的影响

2.2.1 NaCl胁迫对黄心菜幼苗根系生长的影响 由表 3 可知,随着盐胁迫浓度的升高,各处理浓度对幼苗根鲜质量影响差异性不显著;对黄心菜幼苗根干质量而言,NaCl 浓度达到 0.3 mol·L⁻¹时呈显著降低,且 T1、T2、T3 与 CK 差异不显著,T2、T3、T4、T5 之间差异不显著。当盐浓度过高时,幼苗细胞渗透压平衡被破坏,抑制幼苗根干物质积累,幼苗根干质量显著降低。在幼苗根长方面,随着 NaCl 胁迫浓度的不断提高,黄心菜幼苗的根长整体呈下降的趋势。当 NaCl 浓度为 0.05 mol·L⁻¹时,黄心菜幼苗根长与 CK 相比无显著差异。随着 NaCl 浓度进一步升高,T2~T5 处理之间的根长无显著差异。

表3 NaCl胁迫对黄心菜幼苗根部生长的影响
Table 3 Effects of NaCl stress on the growth of the roots of *Brassica campestris*

处理 Treatment	根鲜质量 Root fresh mass/g	根干质量 Root dry mass/g	根长 Root length/cm
CK	0.24±0.01 a	0.22±0.04 a	17.91±0.85 a
T1	0.25±0.08 a	0.23±0.01 a	17.45±0.18 a
T2	0.22±0.01 a	0.21±0.04 ab	14.02±0.97 bc
T3	0.21±0.05 a	0.20±0.01 ab	13.46±0.74 c
T4	0.22±0.06 a	0.19±0.02 b	12.98±0.43 c
T5	0.20±0.03 a	0.18±0.01 b	12.82±0.58 c

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different little letters indicate significant differences at 0.05 level. The same below.

2.2.2 NaCl胁迫对黄心菜幼苗地上部鲜质量和干质量的影响 由表4可知,在NaCl胁迫下,除T1处理外,盐胁迫下其他各处理的地上部鲜质量和干质量均低于CK。NaCl胁迫浓度为 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,黄心菜幼苗地上部鲜质量和干质量均显著高于CK,表明低盐浓度对黄心菜地上部生长有促进作用,可能是低盐浓度对黄心菜幼苗细胞渗透压较为适宜,有利于黄心菜幼苗的生长。除T2外,T3、T4、T5处理地上部鲜质量和干质量与CK相比均显著降低,表明当NaCl浓度高于 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,盐胁迫对黄心菜地上部生长呈现显著抑制作用。各处理株高与CK相比均显著降低,表明NaCl胁迫对黄心菜幼苗的株高生长有显著抑制作用,且浓度越高,抑制性越强。

表4 NaCl胁迫对黄心菜幼苗地上部生长的影响
Table 4 Effects of NaCl stress on the growth of *Brassica campestris* seedlings on the ground

处理 Treatment	地上部鲜质量 Above ground fresh mass/g	地上部干质量 Above ground dry mass/g	株高 Plant height/cm
CK	1.73±0.03 b	1.61±0.00 b	2.34±0.00 a
T1	1.97±0.06 a	1.71±0.01 a	1.99±0.02 b
T2	1.63±0.02 b	1.54±0.00 b	1.84±0.03 b
T3	1.41±0.09 c	1.20±0.08 c	1.58±0.09 c
T4	1.28±0.02 d	1.10±0.04 d	1.64±0.11 c
T5	1.29±0.04 d	1.12±0.03 d	1.34±0.00 d

2.2.3 NaCl胁迫对黄心菜幼苗叶长和叶宽的影响 由表5可知,随着NaCl浓度不断提高,各处理黄心菜幼苗的叶长均不同程度受到了抑制,表现为整体呈下降趋势,T1与CK相比显著降低,T2与T1相比显著降低,T2、T3、T4之间差异不显著,T5与T4相比显著降低,表明NaCl胁迫抑制黄心菜幼

苗叶片伸长,且NaCl浓度越高,对幼苗叶长的抑制性越强。在叶宽方面,T1与CK相比,幼苗叶宽显著增大,T2与CK相比差异不显著,T3与CK相比显著降低,T2、T3、T4之间差异不显著,T5与T4相比显著降低,达到最小值,表现为低浓度促进幼苗叶宽增大,随着NaCl浓度增高,又抑制幼苗叶片横向生长,可能是盐浓度过高破坏了幼苗叶片细胞渗透压平衡。

表5 NaCl胁迫对黄心菜幼苗叶片生长的影响
Table 5 Effects of NaCl stress on the leaf growth of *Brassica campestris* seedlings

处理 Treatment	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm
CK	5.20±0.02 a	2.92±0.02 b
T1	4.62±0.20 b	3.34±0.02 a
T2	4.12±0.01 c	2.84±0.03 bc
T3	3.99±0.11 c	2.74±0.11 c
T4	3.98±0.03 c	2.78±0.06 c
T5	3.78±0.00 d	2.62±0.04 d

2.3 NaCl胁迫对黄心菜幼苗部分生理生化性状的影响

2.3.1 NaCl胁迫对黄心菜幼苗叶绿素相对含量的影响 由表6可知,在NaCl胁迫下,黄心菜幼苗SPAD值随NaCl浓度的不断提高总体呈下降的趋势。与CK相比,在NaCl浓度为 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时SPAD值显著增加,高于 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 呈显著下降,特别是在NaCl浓度 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,与T1处理相比,SPAD值显著下降了30.18%。

表6 NaCl胁迫对黄心菜幼苗SPAD和丙二醛含量的影响

Table 6 Effects of NaCl stress on SPAD and MDA contents of *Brassica campestris* seedlings

处理 Treatment	SPAD	b(丙二醛) MDA content/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1})$
CK	37.23±0.54 b	7.55±0.15 f
T1	39.50±0.70 a	8.54±0.01 e
T2	35.90±0.88 bc	9.35±0.11 d
T3	34.69±0.64 cd	9.84±0.02 c
T4	33.58±0.50 d	12.79±0.05 a
T5	27.58±0.48 e	10.65±0.15 b

2.3.2 NaCl胁迫对黄心菜幼苗丙二醛(MDA)含量的影响 由表6可知,随着NaCl胁迫浓度的升高,与CK相比,各处理丙二醛含量均显著增高。NaCl浓度达到 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,叶片丙二醛含量(b,后同)出现最大值,为 $12.79 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,表明NaCl胁迫对黄心菜幼苗生长产生了抑制作用,使黄心菜幼苗细胞膜的质膜透性增大,破坏了黄心菜幼苗的膜

系统。当 NaCl 浓度为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,叶片丙二醛含量又下降到 $10.65 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,这可能是盐浓度过高超过了黄心菜幼苗抗胁迫的限度,导致黄心菜幼苗的自我调节能力下降。

2.3.3 NaCl 胁迫对黄心菜幼苗脯氨酸(Pro)含量的影响 由表 7 可知,在 NaCl 胁迫下黄心菜幼苗叶片的脯氨酸含量变化整体呈先上升后下降的趋势,且各处理之间差异显著。当 NaCl 浓度为 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,黄心菜幼苗叶片脯氨酸含量出现了最大值,为 $1\,261.18 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;当 NaCl 浓度为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,黄心菜幼苗叶片脯氨酸含量又下降到 $1\,047.86 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。这可能是盐浓度过高超过了黄心菜幼苗抗胁迫的限度,导致黄心菜幼苗的自我调节能力受到显著抑制。

表 7 NaCl 胁迫对黄心菜幼苗脯氨酸和过氧化物酶活性的影响

Table 7 Effects of NaCl stress on proline content and POD activity of *Brassica campestris* seedlings

处理 Treatment	w(脯氨酸) Pro content/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	过氧化物酶活性 POD activity/ $(\text{U} \cdot \text{g}^{-1})$
CK	157.23±6.34 f	888.0±48.50 d
T1	267.43±11.88 e	1 190.7±28.5 c
T2	428.72±13.03 d	1 404.0±43.9 b
T3	969.82±26.60 c	1 841.3±42.9 a
T4	1 261.18±5.49 a	1 750.7±33.5 a
T5	1 047.86±22.00 b	1 418.3±20.7 b

2.3.4 NaCl 胁迫对黄心菜幼苗过氧化物酶(POD)活性的影响 由表 7 可知,随着 NaCl 浓度的增加,黄心菜幼苗叶片的 POD 活性整体呈先上升后下降的趋势。具体表现为 NaCl 胁迫处理后,与 CK 相比,POD 活性均显著增加,在浓度为 0.2 和 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,幼苗叶片的 POD 活性最高,显著高于其他处理,二者之间无显著性差异,但随着 NaCl 胁迫浓度继续升高,酶活性开始下降。

3 讨论与结论

在笔者的试验中,NaCl 胁迫显著抑制了黄心菜种子的发芽势和发芽率,且在低浓度 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时已表现出极显著差异,表明黄心菜种子在发芽期对盐胁迫反应非常敏感。随着 NaCl 胁迫浓度的升高,黄心菜种子的发芽势和发芽率进一步显著降低,特别是在 NaCl 胁迫浓度为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,黄心菜种子的发芽势和发芽率为 0,这与梁娟红等^[5]、热孜亚·麦提等^[6]的研究结果一致。但是在 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐胁迫下,黄心菜的胚芽生长却显著高于对照,说明低浓度的盐胁迫对胚芽的生长有一定的刺激

作用,这与李然红等^[9]的研究结果较为一致。

作物遭受盐胁迫时,植物幼苗的生长受到显著影响。在本试验中,在盐胁迫下黄心菜幼苗的根鲜质量在不同处理之间无显著差异,而根干质量在 NaCl 浓度为 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时受到显著抑制,说明 NaCl 胁迫对黄心菜幼苗根系干物质积累的影响更显著。盐胁迫对黄心菜幼苗地上部鲜质量和地上部干质量影响的总趋势是随着胁迫浓度的增加而显著下降,这与前人研究结果一致,但在低浓度 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,却表现为显著的促进作用,推测与 Na^+ 参与调节细胞渗透压、离子平衡等过程有关,需要做进一步的深入研究。

叶绿素是光合作用的重要色素,也是衡量植物抗逆性的重要生理指标,其含量变化在一定范围内反映了盐胁迫对植物的伤害程度^[10]。本试验结果表明,低浓度的盐胁迫与 CK 相比,显著升高了黄心菜幼苗 SPAD 值,但随着盐胁迫的增强,其 SPAD 值逐渐降低,表明高浓度的盐胁迫抑制了黄心菜幼苗叶绿素的合成,影响其幼苗正常生长,这与前述黄心菜幼苗表型性状的变化相一致,也与张若溪等^[11]、戴伟等^[12]的研究结果一致。

膜相对透性和丙二醛(MDA)含量可以在一定程度上反映膜损伤程度^[3]。Hao 等^[13]认为盐胁迫会导致质膜过氧化加剧,其结构出现膨胀或破损,造成质膜通透性增强。在笔者的试验中,随着 NaCl 浓度提高,黄心菜幼苗的 MDA 含量呈先低后高的趋势,但当 NaCl 浓度为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,幼苗 MDA 含量又出现显著下降,达到 $10.65 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,这可能是盐浓度过高超过了黄心菜幼苗适应胁迫的范围,导致黄心菜幼苗的自我调节能力下降,这些与前人研究结果基本一致。

脯氨酸作为植物重要的渗透调节保护剂,且对细胞无毒害作用,在逆境下植物通过合成大量脯氨酸调节渗透平衡,以提高植物的抗逆性^[14-15]。本试验中,随着 NaCl 浓度的升高,黄心菜幼苗叶片中脯氨酸含量呈现先显著上升后下降的趋势,表明黄心菜幼苗在受到盐胁迫时,幼苗通过脯氨酸积累,减轻细胞的膜脂过氧化程度,调节细胞渗透势以抵御盐分胁迫,增强其对环境的适应性。

过氧化物酶(POD)是植物体内的重要防御酶之一,可以清除逆境下植物细胞内活性氧自由基,提高植物抗逆性。在本试验中,黄心菜幼苗在 NaCl 胁迫下,POD 活性在不同处理之间整体上呈先上升后下降的趋势。说明在盐胁迫下,幼苗可以通过提

高过氧化物酶活性而增强对盐胁迫环境的适应性,但胁迫程度超过一定范围,植物的自适应能力显著降低,这与前人的研究结果是一致的^[16-17]。

综上所述,NaCl胁迫显著降低了黄心菜种子的发芽势与发芽率,与幼苗期相比,其发芽期对盐胁迫更为敏感。分析表明,NaCl浓度为 $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时就对黄心菜种子萌发产生极显著抑制作用,可作为黄心菜耐盐品种选择种子萌发试验的理论依据;在幼苗期,低浓度NaCl胁迫对黄心菜幼苗的生长有一定的促进作用,随着NaCl浓度升高,黄心菜幼苗的生长则受到显著抑制,这与幼苗的丙二醛含量、脯氨酸含量、过氧化物酶活性等生理生化指标变化相一致,分析表明, $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl胁迫对黄心菜幼苗地上部质量积累有一定促进作用, $0.2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl胁迫开始显著抑制幼苗的生长,可为筛选黄心菜耐盐品种提供理论依据。

参考文献

- [1] 尹川川,上官端琳,付强,等. 信阳黄心菜新品种选育初报[J]. 浙江农业科学,2018,59(6):949-950.
- [2] 张蓉蓉,樊会敏,郭军艳,等. 陕西渭北农田土壤盐碱化空间分布及影响因素[J]. 西北农业学报,2018,27(3):440-450.
- [3] 沈徐悦,张浪,陈蓉蓉,等. 盐胁迫对望春玉兰幼苗形态和相关生理指标的影响[J]. 浙江农林大学学报,2021,38(2):289-295.
- [4] 王庆彪,王艳萍,令狐波,等. 盐胁迫对萝卜幼苗生长及RsCAT和RsSOD基因表达的影响[J]. 华北农学报,2021,36(6):1-6.
- [5] 梁娟红,李巧丽,赖晶,等. 外源ATP对盐胁迫下油菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 干旱地区农业研究,2020,38(3):89-96.
- [6] 热孜亚·麦麦提,顾元国,李强,等. 盐和干旱胁迫对芥菜型油菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 新疆农业科学,2018,55(10):1819-1828.
- [7] 朱天奇,鲁泽宇,胡桑源,等. 盐胁迫对两个高羊茅品种幼苗生长及生理特性的影响[J]. 草地学报,2022,30(8):2082-2088.
- [8] 李小方,张志良. 植物生理学实验指导[D]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [9] 李然红,金志民,宗宪春,等. NaCl单盐胁迫对大白菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 甘肃农业科技,2015(12):31-34.
- [10] 苏兰茜,白亭玉,鱼欢,等. 盐胁迫对2种菠萝蜜属植物幼苗生长及光合荧光特性的影响[J]. 中国农业科学,2019,52(12):2140-2150.
- [11] 张若溪,蔡亚南,李庆卫. 混合盐胁迫对栎树光合生理指标的影响[J]. 西北植物学报,2022,42(1):98-106.
- [12] 戴伟,胡振阳,王刚,等. NaCl胁迫对5种植物生理光合特性影响的比较研究[J]. 江西农业学报,2019,31(8):6-13.
- [13] HAO S H, WANG Y R, YAN Y X, et al. A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance[J]. Horticulturae,2021,7(6):132.
- [14] 陈奋奇,方鹏,白明兴,等. 外源脯氨酸缓解玉米幼苗盐胁迫的效应[J]. 草业科学,2022,39(4):747-755.
- [15] 王玮,吴传万,王欣,等. 外源脯氨酸对盐胁迫下萝卜幼苗生长、抗氧化酶活性及渗透调节物质积累的影响[J]. 江西农业学报,2019,31(3):51-56.
- [16] 孙静,王宪泽. 盐胁迫对小麦过氧化物酶同工酶基因表达的影响[J]. 麦类作物学报,2006,26(1):42-44.
- [17] 章建红,洪春桃,沈登锋,等. 盐胁迫对薄壳山核桃幼苗抗氧化酶活性的影响[J]. 北方园艺,2022(18):23-28.